

**Oponentský posudek**  
**na**  
**disertační práci předloženou**  
**panem Ing. Slavomírem Entlerem**  
**o názvu „Energetické využití jaderné fuze“**  
**na Fakultě strojní Českého vysokého učení v Praze**

**ve studijním doktorském programu „Strojní inženýrství. Energetické stroje a zařízení.“**

Oponent: Prof. Josef Kott, DrSc.,

V Praze dne 11.07.2018

**1. Hodnocení významu práce pro obor:**

V polovině padesátých let minulého století se tehdejší odborníci v oboru jaderné energetiky domnívali, že technologická realizace fuzních jaderných systémů se uskuteční mezi roky 1980 až 2000. V sedmdesátých letech však již bylo jasné jak vědecky a technicky že to bude ve skutečnosti složitá, náročná a drahá cesta. Přesto se již v roce 1997 podařilo na fuzním reaktoru Joint European Torus jednoznačně prokázat reálné možnosti práce fuzního energetického systému. Ale, jak doktorand ve své disertační práci správně uvádí, ten hlavní krok a to skutečné přesvědčení o širokém a bezpečném nasazení fuzních elektráren bude nutné ještě prokázat. To se očekává od projektu zařízení mezinárodního termojaderného reaktoru o fuzním výkonu 500 MW (ITER) na evropské úrovni. Předpokládá se tento typ fuzního reaktoru uvést do zkušebního provozu za zhruba 7 roků s tím že první dodávky elektrického proudu do veřejné sítě by se mohly uskutečnit na přelomu poloviny tohoto století. Zde si musíme připomenout, že stávající technologická praxe současných technologických jednotek na světě je dána teplotami pracovních prostředí nedosahujících 5000 K, s relativně nízkými tepelnými toky a u jaderných zařízení také nízkým polem energie vznikajícího doprovodného částicového záření v porovnání k předpokladům fuzního reaktorového prostředí. Navíc se zde pro uplatnění funkce fuzního reaktoru vyskytuje silné magnetické pole se kterým při daných parametrech fuzního prostředí máme malé zkušenosti. V neposlední řadě se dostáváme k problematice konstrukčního materiálu jako zcela fundamentální části každého budoucího energetického zařízení. S tím souvisí také tvorba inovovaných stávajících jaderných koncepcí s teplotami teplo směnného prostředí kolem 1200 K a integrálních neutronových tocích po dobu životnosti komponenty řádu kolem 23 při střední energii neutronů kolem 1 MeV. Naproti tomu u fuzního reaktoru se pohybujeme na teplotách nad sto milion stupňů Kelvina za daleko vyšších hodnot emitovaných velmi rychlých neutronů. A k tomu např. také potřebujeme mít k dispozici už kolem roku 2025 provozně ověřené konstrukční materiály. Z tohoto krátkého přehledu, bez uvedení dalších stovek realizačních požadavků vyplývá, že každá vytvořená vědecká práce s fuzní problematikou obohacuje daná vědecká a technická poznání.

Disertační práci tvoří 136 stran základního textu z čehož 123 stránek je věnováno výsledkům vlastní vědecké práce. Odkazy na použitou literaturu tvoří 41 údajů doplněné vlastními publikacemi celkem o 51 doložených odkazech,

## **2. Vyjádření k postupu řešeného problému a k použitým metodám.**

Použitá metodika řešení problematiky prolínající se všemi dílčími kapitolami má vysokou věcnou a vypovídající hodnotu. Sdružuje otázky, formuluje postupy nezbytné ne vždy adekvátních úloh a zařazuje je do výsledných aplikačních tvarů. Hned v úvodu je nutné zdůraznit, že předložená práce obsahuje dvě samostatné problematiky, které sice nakonec patří do jednoho společného díla ale jinak jsou naprosto obsahově rozdílná. Při této příležitosti bych rád zdůraznil, že každá z těchto dvou částí obsahuje dostatek vědeckých poznatků a výstupů na prokázání vědecké kvalifikace hodnosti doktora filosofie. Práce sama je rozdělena do 9 kapitol, z čehož prvních 7 obsahuje vědecká témata. Úvodní prvá kapitola tvoří určitý odborný vstup do vědeckých otázek fuzních energetických systémů. V druhé kapitole jsou diskutovány různé možné formy fuzních energetických reaktorů a následuje popis a teoretické doložení možností metody recirkulace výkonu fuzního paliva, kam doktorand uložil velkou část svých teoretických znalostí a vytvořil novou hodnotící metodiku. Do závěrečných dvou kapitolách jsou zařazeny výzkumné postupy unikátního vývoje bizmutových Hallových senzorů konkrétně připravovaných pro zařízení ITER. V jednotlivých kapitolách se také prolíná skutečnost „trvalé“ dostupnosti fuzního paliva jako jednoho ze základních výstupů perspektivní orientace na fuzní energetiku.

## **3. Stanovisko k výsledkům disertační práce.**

Objektivně a výstižně se hodnotí vyřešené ale i otevřené otázky kterými je fuzní energetika již dneska charakteristická. Zde vystupuje do popředí nepochybně otázka materiálová. Na základě současných dostupných znalostí o materiálech se dostáváme k následné životnosti nejvíce exponovaných reaktorových komponent, které jsou namáhané převážně jinými druhy zatížení než jsme ze současné reaktorové techniky zvyklí. Doktorand správně upozorňuje na technologická opatření která mohou silně ovlivnit celkovou provozní ekonomiku fuzní elektrárny. Přesto, že se bude v příštích desetiletích probíhajícím vývojem technologická struktura fuzní elektrárny v mnoha směrech upravovat a měnit, základní skutečností zůstává, že inherentní bezpečnost fuzního reaktoru spolu s trvalými již dnes existujícími zásobami fuzního paliva tvoří hlavní důvody pro perspektivní realizaci fuzní energetiky.

## **4. Shrnutí k významnosti disertačních prací z oblasti fuzní energetiky.**

Hovoříme o perspektivním období let 2050 až 2100. V této době budou z části realizovány inovované systémy jaderných elektráren pracujících s uranovým a thoriovým palivem. Tyto energetické systémy budou stále založené na štěpných procesech, avšak tyto reaktory s největší pravděpodobností budou již vybaveny samo spalováním vysoce radioaktivních jader štěpných produktů v samém průsaku prostoru aktivních zón. Druhým opatřením bude

zvýšení provozní teploty ve vnitřním prostředí reaktoru na hodnoty kolem 1200 K aby bylo dosaženo vyšší tepelné účinnosti. Základními typy reaktorů budou rychlé reaktory, vysokoteplotní (přechod na vodíkové dopravní a energetické technologie) a reaktory se samovolně snižujícím množstvím vysoce aktivních štěpných produktů. Avšak všechna tato opatření budou vycházet z vysokého stupně zvládnutí štěpné technologie a nebudou moci řešit problematiku vyčlenění úplného zániku vzniku štěpných produktů. To je úloha fuzní energetiky a proto přes všechny současné realizační potíže a problémy je nutné pro příští generace fuzní energetiku podporovat, prosazovat a v prototypové fázi českým přínosem posilovat.

## **5. Závěr.**

Disertační práce je schnutím dlouholeté systematické vědecké práce pana Ing. Entlera, má vynikající úroveň a zcela vyhovuje požadavkům paragrafu 47 zákona č.111/1998 Sb. proto práci doporučuji k obhajobě a v případě její úspěšné obhajoby doporučuji doktorandovi udělit vědeckou hodnost doktor filosofie (PhD.,)